

Transição Energética em Sistemas Isolados

SUMÁRIO EXECUTIVO

Como empresa federal de utilidade pública, a Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH apoia o Governo Federal da Alemanha em seus objetivos na área de cooperação internacional.

Publicado por: Projeto Sistemas de Energia do Futuro

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH Sede social Bonn e Eschborn, Alemanha SCN Quadra 1 Bloco C Sala 1501, 15 andar, Ed. Brasília Trade Center. CEP 70711-902, Brasília-DF, Brasil Telefone: (61) 2101-2170 www.giz.de/brasil	Ministério de Minas e Energia Esplanada dos Ministérios, Bloco U Brasília/DF CEP: 70065-900 Telefone: (61) 2032-5555 www.gov.br/mme
--	--

Coordenação

Daniel Almarza (GIZ)
Roberto Castro (GIZ)
Leticia Maciel (GIZ)
Gustavo Pires da Ponte (EPE)

Autores

Kathlen Schneider (IESS/IDEAL/ FV UFSC)
Laís Vidotto (IESS/IDEAL/ FV UFSC)
Lucas do Nascimento (IESS/IDEAL/ FV UFSC)
Ricardo Rüther (IESS/IDEAL/ FV UFSC)

Comitê Técnico

Osvaldo Livio Soliano Pereira (Centro Brasileiro de Energia e Mudanças Climáticas - CBEM)
Silvia Vitorino Pereira (Consultora em geoprocessamento)
Suani Coelho (Grupo de pesquisa em bioenergia da USP - GBio)
Markus Vlasits (NewCharge Energy)
José Rubens Morato Leite (Centro de Ciências Jurídicas da UFSC - CCJ UFSC)
Tiago Barros Correia (Consultor em leilões)
Álvaro José Pessoa Ramos (Consultoria de sistemas em energia elétrica - Andesa)

Comitê Técnico (Empresa de Pesquisa Energética - EPE)

Gustavo Pires da Ponte
Guilherme Mazolli Fialho
Aline Couto de Amorim
Michele Almeida de Souza
Paula Monteiro Pereira

Revisão

Renata Bennet (GIZ)
Carolina Marcusse (GIZ)

Diagramação

Gustavo Costa

Fotografias

Imagem da maior usina solar da região Norte do país em Manaus, Amazonas, inaugurada em fevereiro de 2023.
Créditos: Antônio Pereira (Semcom Manaus)

O projeto Sistemas de Energia do Futuro integra a Cooperação Brasil-Alemanha para o Desenvolvimento Sustentável e é implementado pela Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH e pelo Ministério de Minas e Energia com recursos do Ministério Federal da Cooperação Econômica e Desenvolvimento (BMZ) da Alemanha.

Brasília, Novembro de 2025

Apresentação

Os Sistemas Isolados enfrentam desafios significativos, como o elevado custo de geração de energia e a forte dependência do óleo diesel na matriz elétrica. Localizados majoritariamente na região Amazônica, esses sistemas também sofrem com dificuldades logísticas para o suprimento de combustível e equipamentos.

É nesse contexto que se insere o estudo “Transição Energética em Sistemas Isolados”, resultado de uma parceria estratégica entre a Empresa de Pesquisa Energética (EPE) e o Projeto Sistemas de Energias do Futuro III, no âmbito da Cooperação Brasil-Alemanha para o Desenvolvimento Sustentável. O projeto é implementado pela Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, em colaboração com o Ministério de Minas e Energia (MME).

O estudo está alinhado com os objetivos e diretrizes do Programa Energias da Amazônia, instituído pelo Decreto nº 11.648, de 16 de agosto de 2023. Entre suas metas, destacam-se a redução das emissões de gases de efeito estufa, o aumento da qualidade e segurança no suprimento de energia elétrica e a diminuição estrutural dos custos da Conta de Consumo de Combustíveis.

A iniciativa contou com a participação de consultores especializados e o acompanhamento técnico da EPE e da GIZ, e apoio institucional do Ministério de Minas e Energia. Essa colaboração permitiu a elaboração de um diagnóstico aprofundado dos principais desafios enfrentados pelos Sistemas Isolados, além do mapeamento de soluções viáveis para uma transição energética justa, segura e inclusiva.

Entre as ações desenvolvidas, destaca-se a capacitação de mais de 300 agentes sobre soluções híbridas de geração para atendimento às localidades isoladas. Também foram realizados diversos estudos técnicos, elétricos, econômicos e de potencial energético, com foco em fontes renováveis. Como complemento, foi criada uma ferramenta digital que apresenta, de forma georreferenciada, as características locais, a infraestrutura disponível e o potencial energético de cada fonte em cada comunidade.

Os primeiros resultados já podem ser observados. O estudo tem contribuído diretamente para o aprimoramento das etapas de planejamento e definição das diretrizes dos leilões voltados aos Sistemas Isolados. Acreditamos que este trabalho será igualmente valioso para os agentes privados que atuam ou desejam atuar nesse segmento, além de ajudar a sociedade a compreender melhor a realidade energética dessas regiões.

Boa Leitura!

Ministério de Minas e Energia

Empresa de Pesquisa Energética

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Sobre o projeto

Mesmo com a crescente participação de projetos baseados em fontes renováveis em leilões para contratação do suprimento de energia elétrica, a geração a óleo diesel ainda predomina nos Sistemas Isolados (SISOL). Neste contexto, entre 2022 e 2023, foi realizado um estudo sobre Transição Energética nos Sistemas Isolados, o qual teve como principal objetivo apresentar propostas para fomentar a integração de energias renováveis nos Sistemas Isolados brasileiros.

O projeto consistiu na identificação e documentação de lições aprendidas com leilões passados, na elaboração de proposições de melhoria para os próximos leilões, na identificação de potencial de uso de fontes renováveis neste contexto, e no estudo de confiabilidade do suprimento em cenários com alta inserção fotovoltaica.

O estudo foi coordenado pelos projetos Sistemas de Energia do Futuro e E2Brasil, que integram a Cooperação Brasil-Alemanha para o Desenvolvimento Sustentável e são implementados pela *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit* (GIZ) GmbH e pelo Ministério de Minas e Energia (MME), com recursos do Ministério Federal da Cooperação Econômica e do Desenvolvimento (BMZ) da Alemanha. A iniciativa também tem o apoio da Empresa de Pesquisa Energética (EPE).

A condução técnica foi realizada pela Ideal Estudos e Soluções Solares (IESS), pelo Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal de Santa Catarina (Fotovoltaica-UFSC) e por outras empresas de consultoria especializadas.

Objetivo principal

O projeto teve como objetivo principal apresentar propostas para a integração de energias renováveis nos Sistema Isolados (SISOL) brasileiros. Para isso, buscou-se atingir seis objetivos específicos, conforme apresentado a seguir.

Objetivos específicos



Lições aprendidas - Identificação e documentação das lições aprendidas dos leilões de Roraima (2019) e do SISOL (2021), incluindo a proposição de aperfeiçoamento de futuros leilões.



Proposição de melhorias - Sugestão de aprimoramento para os próximos leilões do SISOL, incluindo a revisão do modelo de contratação.



Potencial das fontes - Identificação de sistemas do SISOL para potencial inserção de fontes renováveis, incluindo um mapeamento dos recursos renováveis disponíveis e apontamento de desafios técnicos, econômicos e socioambientais na utilização desses recursos, bem como a proposição soluções.



Estudos elétricos - Definição de requisitos elétricos para sistemas isolados com alta penetração de energia solar fotovoltaica, visando assegurar a confiabilidade do suprimento.

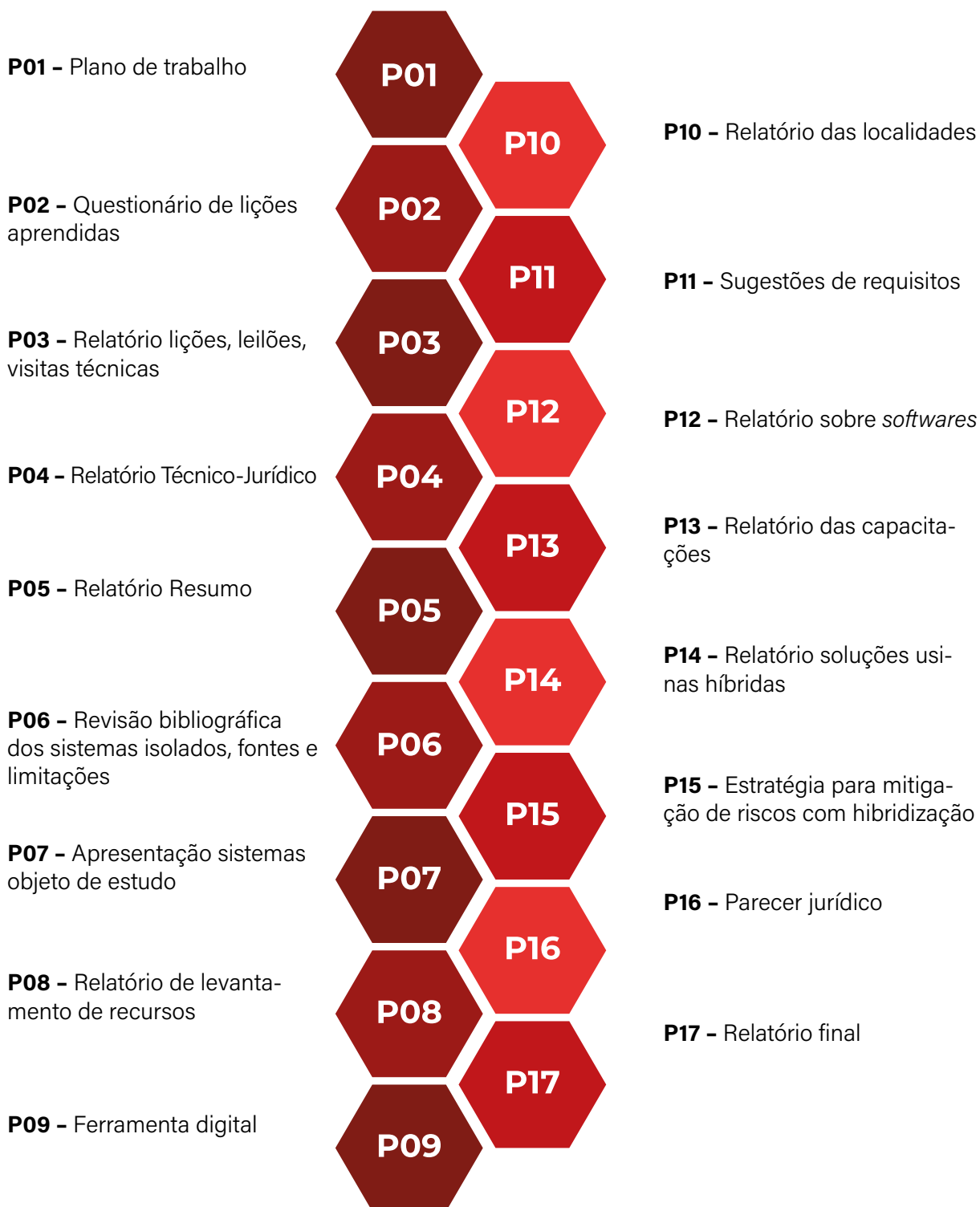


Capacitação dos agentes - Capacitação dos empreendedores com interesse em geração de energia no SISOL, incluindo tópicos como: previsão do recurso de fontes renováveis, desafios técnicos da hibridização, custos e boas práticas.



Projeto demonstrativo - Identificação de candidatos de projetos demonstrativos para averiguar a viabilidade técnica e econômica dos sistemas híbridos com fontes renováveis em usinas diesel existentes, considerando a inclusão de fonte renovável com ou sem armazenamento de energia em baterias de íons de lítio.

O Projeto foi estruturado em 17 produtos



Contexto SISOL

Segundo o “Planejamento do atendimento aos Sistemas Isolados - Ciclo 2022”, publicado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), em 2022 havia 212 Sistemas Isolados no Brasil atendidos por 8 distribuidoras e localizados em 7 estados.¹

O atendimento do SISOL baseia-se de forma predominante em usinas térmicas que usam como combustível o óleo diesel e caracterizam-se pelo elevado número de unidades geradoras de pequeno porte e pela grande dificuldade logística de abastecimento, que pode ser interrompido durante a estiagem, o que exige que as usinas em certas áreas possuam grandes tanques de armazenamento para estocar combustível. Por outro lado, muitas regiões acessíveis por rodovias enfrentam problemas durante a estação chuvosa, preci-

sando manter um maior estoque de combustível nesse período.

A energia elétrica necessária para o suprimento destas regiões é contratada via leilões. O último leilão para o suprimento de energia no SISOL aconteceu no ano de 2021, com a contratação de 54,4 MW médios, sendo mais de 55% provenientes de empreendimentos à diesel. Ao longo das últimas décadas as tentativas de redução da participação da geração diesel na matriz do SISOL não têm atingido este objetivo, e o mecanismo de sub-rogação da Conta de Consumo de Combustíveis (CCC) não se mostrou efetivo, principalmente pela elevada percepção de risco que os agentes têm com relação à realização de investimentos em fontes renováveis de energia e armazenamento de energia em bancos de baterias.

8

Agentes de distribuição

212

Sistemas Isolados



1 - No período da publicação deste estudo (2024), o Brasil contava com 175 sistemas isolados, conforme dados públicos do Planejamento do Atendimento aos Sistemas Isolados – Ciclo 2024, disponibilizados pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE). [Publicações](#).

Lições aprendidas

Percepção e proposições dos agentes envolvidos

Visando ampliar a percepção dos agentes responsáveis pela implementação dos leilões no SISOL o escopo do projeto incluiu avaliar proposições de aprimoramento técnico, legal e regulatório nos leilões.

Inicialmente foram realizadas entrevistas com Produtores Independentes de Energia (PIE) e agentes de distribuição que atuam em usinas e minirredes do SISOL em relação às diretrizes,

instruções e procedimentos adotados nos leilões realizados em 2019 e 2021. No total foram realizadas 12 entrevistas; nove foram realizadas com empreendedores e outras três com os agentes de distribuição. Quando questionados sobre a conveniência e/ou sugestões de mudanças nas regras atuais dos leilões, a maioria dos entrevistados propôs algum tipo de mudança.

Proposição de melhorias

Ao longo das entrevistas destacaram-se as seguintes propostas de mudança:

(i) ampliação do prazo entre a publicação do edital e o cadastramento das soluções de suprimento e dos prazos contratuais para projetos com fontes renováveis;

(ii) divulgação prévia das localidades e o tamanho dos sistemas a serem atendidos, além das datas dos leilões;

(iii) fornecimento mais detalhado de consumo das localidades (nível horário);

(iv) revisão da metodologia de cálculo do preço de referência;

v) aumento do horizonte de planejamento do mercado;

(vi) promoção de leilão exclusivo para soluções de suprimento com fontes renováveis de energia;

(vii) manutenção dos contratos de suprimento com fonte renovável após a interligação da localidade ao SIN;

(viii) definição de regras operativas claras sobre como será a operação do sistema no caso em que um PIE existente passe a compartilhar a operação do sistema com um novo PIE vencedor do leilão.

Visitas técnicas

Para um melhor entendimento do contexto do SISOL foram realizadas visitas técnicas na cidade de Cobija (Bolívia), 10 localidades do Amazonas, além de Fernando de Noronha (PE) e a cidade de Oiapoque² (AP). Durante as visi-

tas foi possível analisar as operações dos sistemas isolados e identificar desafios e oportunidades para projetos de energias renováveis.

A tabela abaixo resume as localidades visitadas e principais desafios identificados:

Localidade	Capacidade	Desafios identificados
Cobija - Bolívia	Solar: 5,2 MW Armazenamento: 2,2 MW/1,2MWh Diesel: 15,2 MW	Integração de novos geradores diesel, problemas técnicos no sistema de armazenamento
Amazonas	Anamã: 3,25 MW (gás) Anori: 5,4 MW (gás) Beruri: 10,1 (diesel) Tuiué: 1,7 (diesel) Novo Airão: 10,2 (diesel) Sacambu: 1,3 MW (diesel) Castanho I: 21 MW (diesel) Manaquiri: 10,2 (diesel) Castanho II: 21 MW (diesel) Autazes: 12 MW (diesel)	Logística de abastecimento, manutenção das linhas de distribuição, em algumas localidades não seria possível instalar energia solar sem supressão vegetal
Fernando de Noronha (PE)	Solar: 402 kWp (Noronha I), e 550 kWp (Noronha II)	Alta demanda residencial, restrições ambientais
Oiapoque (AP)	Solar: 4 MW Diesel: 12 MW	Logística complexa, sombreamento da floresta próxima da usina FV

As oportunidades identificadas durante as visitas técnicas incluem a hibridização das minirredes em locais como Sacambu-AM, que possui áreas suprimidas de vegetação disponíveis. Em Fernando de Noronha foram identificados locais para expansão de sistemas fotovoltaicos em solo, flutuantes e integrados à edificação.

A cidade de Oiapoque tem o potencial de se tornar 100% renovável com a implementação de sistema de armazenamento de grande porte, combinando geração solar e uma pequena central hidrelétrica (que já está em construção) para substituir gradualmente a geração térmica.

² - As avaliações relativas ao sistema isolado de Oiapoque foram baseadas na situação atual da localidade, sem considerar eventuais crescimentos de carga em razão da exploração de óleo e gás na Margem Equatorial.



Anamã - AM



Beruri - AM



Oiapoque - AP



Sacambu - AM



Anori - AM



Manaquiri - AM



Tuiué - AM



Fernando de Noronha - PB



Castanho I - AM



Castanho II - AM



Tuiué - AM



Autazes - AM

Estudo das fontes

Potencial Renovável na Região Amazônica

O potencial das fontes renováveis de geração de energia foi avaliado, identificando as oportunidades e os desafios de cada tecnologia.

Fonte	Oportunidades	Desafios
Hidroelétrica	▪ Rios com grande volume de água ou com quedas expressivas	▪ Rios planos no Norte; ▪ Rios com baixa velocidade; ▪ Sensibilidade ambiental na região amazônica; ▪ Áreas de conservação indígenas.
Eólica	▪ Potencial de boas velocidades de vento no Norte de Roraima e na costa do Amapá	▪ Potencial limitado na região norte; ▪ O maior potencial em Roraima é numa terra indígena; ▪ Complexidade logística de transporte de aerogeradores de porte comercial; ▪ Geração intermitente.
Fotovoltaica	▪ Boa irradiação na região e homogeneidade; ▪ Redução de preços ao longo dos anos.	▪ Geração intermitente; ▪ Necessidade de supressão vegetal para instalação das usinas em solo.
Biomassa	▪ Impactos positivos nas emissões de carbono evitadas ▪ Áreas na região amazônica com elevado potencial	▪ Uso de pallets ou cavacos de madeira depende da extração legal de madeira; ▪ Potencial por localidade é baixo, havendo necessidade de uma central regional de coleta/processamento de biomassa; ▪ Dificuldade logística de coleta na biomassa; ▪ Intermitência e sazonalidade de disponibilidade dependendo da fonte de biomassa.

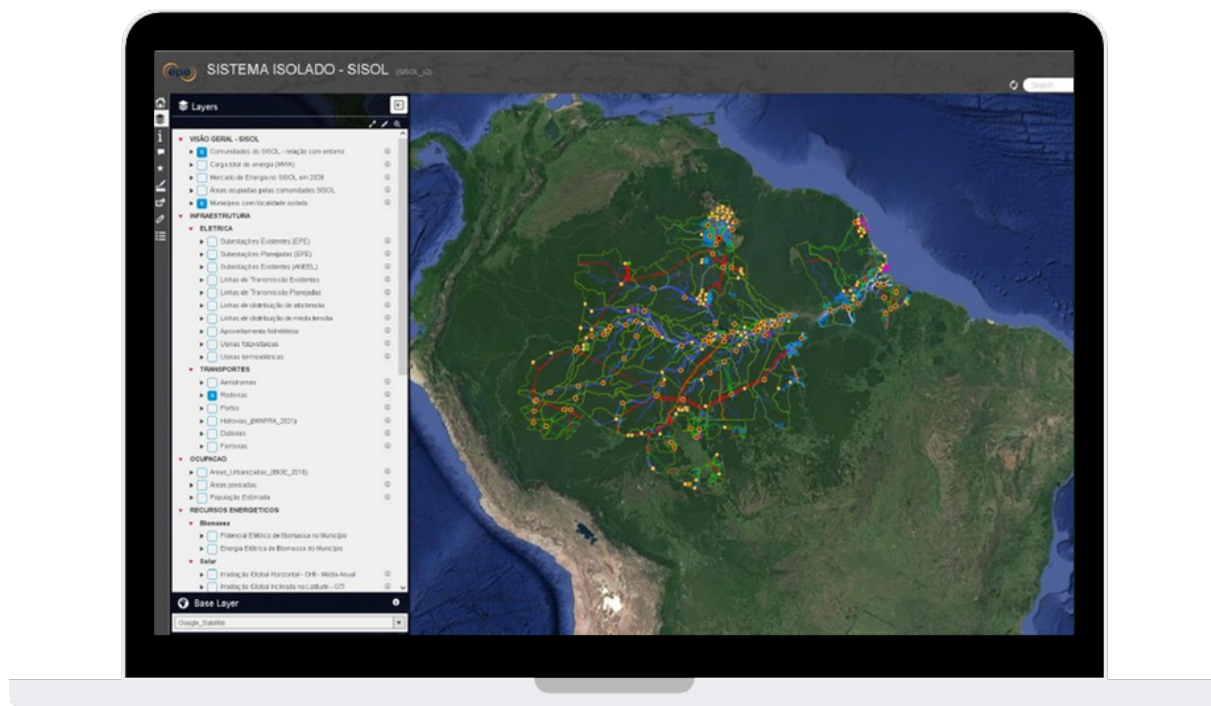
Com o fim de quantificar o potencial de fontes renováveis para aplicação no SISOL, foi desenvolvido o Inventário Geoespacial, que é composto por metadados e por um conjunto de bases de dados georreferenciados. Esses arquivos devem ser abertos por um Sistema de Informações Geográficas (SIG) - onde podem ser manipulados com o objetivo de extrair as informações relacionadas à localização de cada uma das comunidades do SISOL.

O processamento das informações georreferenciadas de acordo com os critérios estabelecidos pela

equipe multidisciplinar do projeto evidenciou as particularidades de cada comunidade, possibilitando e fortalecendo as tomadas de decisão no processo de implantação dos sistemas de transição.

Ferramenta Digital

A partir da base de dados foi implementada uma ferramenta digital do SISOL que apresenta de forma cartográfica as características locais de cada comunidade. A ferramenta será disponibilizada no site da EPE.



Utilização de resíduos para biomassa

O projeto realizou um detalhamento das investigações e análises sobre a viabilidade de transição energética nos sistemas isolados, focando no aproveitamento de diversas formas de resíduos de biomassa para a geração de energia elétrica entre elas: resíduos sólidos urbanos, resíduos agrícolas, resíduos de tratamento de esgoto e resíduos animais.

▪ **Potencial energético de diversos resíduos:**

O estudo evidenciou um significativo potencial energético derivado do aproveitamento de resíduos agrícolas e resíduos animais. Destaca-se a capacidade desses resíduos em contribuir substancialmente para a matriz energética de comunidades isoladas através da geração de energia elétrica.

▪ **Casos específicos e aplicabilidade:** Análises detalhadas demonstram a aplicabilidade prática e os benefícios ambientais e econômicos da valorização energética dos resíduos. Esses estudos

forneem evidências concretas de como a implementação de sistemas de conversão energética podem ser adaptados a contextos específicos.

▪ **Barreiras e desafios:** O estudo abordou as principais barreiras técnicas, econômicas e regulatórias que atualmente limitam a implementação efetiva de tecnologias de conversão de resíduos em energia. Essas incluem a necessidade de avanços tecnológicos, ajustes na legislação, e a elaboração de modelos de negócios sustentáveis que possam atrair investimentos e apoio governamental.

▪ **Recomendações estratégicas:** Foram propostas diretrizes e estratégias para superar esses desafios, incluindo o desenvolvimento de políticas públicas de incentivo, a criação de parcerias público-privadas, e o fortalecimento de infraestruturas locais para o tratamento e a valorização de resíduos.

Tipos de resíduos considerados



Dejetos animais



Resíduos agrícolas



Resíduos de manejo florestal



Resíduos sólidos urbanos

Municípios com potencial de produção de energia a partir de biomassa que poderiam suprir toda a energia consumida no município

Dejetos Animais	Resíduos Agrícolas	Resíduos de manejo florestal	Resíduos sólidos urbanos
São Francisco do Guaporé - RO	Chupinguaia - RO	Laranjal do Jari - AM	Belém - PA
Chupinguaia - RO	Porto Velho - RO	Itaituba - PA	Macapá - AM
Alta Floresta D'Oeste - RO	Manacapuru - AM	Mazagão - AM	Atalaia do Norte - AM
Guajará-Mirim - RO	Vitória do Jari - AM	Faro - PA	
Amapá - AM	Uiramutã - RR		
Chaves - PA	Anajás - PA		
Aveiro - PA	Normandia - RR		
Prainha - PA	Marechal Thaumaturgo - AC		
Amajari - RR	Oeiras do Pará - PA		
Santa Cruz do Arari - PA	Jordão - AC		
Lábrea - AM	Codajás - AM		
Apuí - AM	Alto Alegre - RR		
Porto de Moz - PA	Feijó - AC		
	Uarini - AM		
	Tarauacá - AC		
	Porto Walter - AC		
	Alvarães - AM		
	Bonfim - RR		
	Santa Rosa do Purus - AC		
	Muaná - PA		
	Jacareacanga - PA		
	São Sebastião da Boa Vista - PA		
	Manicoré - AM		
	Juruti - PA		

Os estudos elétricos foram avaliados em 2 categorias:



ESTUDOS ELÉTRICOS

Estudos responsáveis pela validação da operação em tempo real do sistema híbrido, avaliando as intermitências das fontes e da carga.



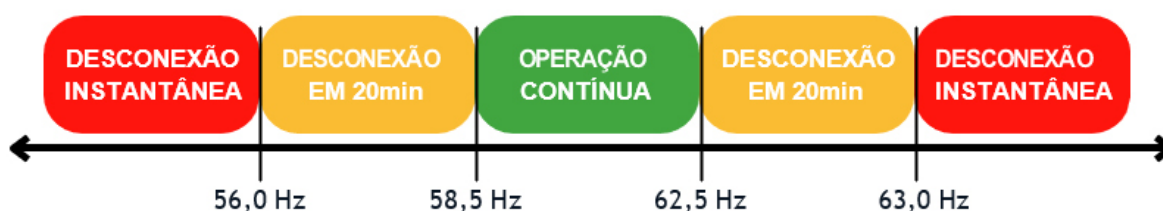
ESTUDOS ENERGÉTICOS

Estudos responsáveis pela avaliação do consumo e da geração global necessária para o suprimento de energia elétrica do SISOL.

Critérios para a avaliação dos estudos elétricos

Para a validação dos estudos elétricos foi considerada a faixa de tolerância de frequência em regime contínuo definida nos Procedimentos

de Rede do ONS para que a geração fotovoltaica (e eólica) deva ser capaz de operar em regime contínuo.



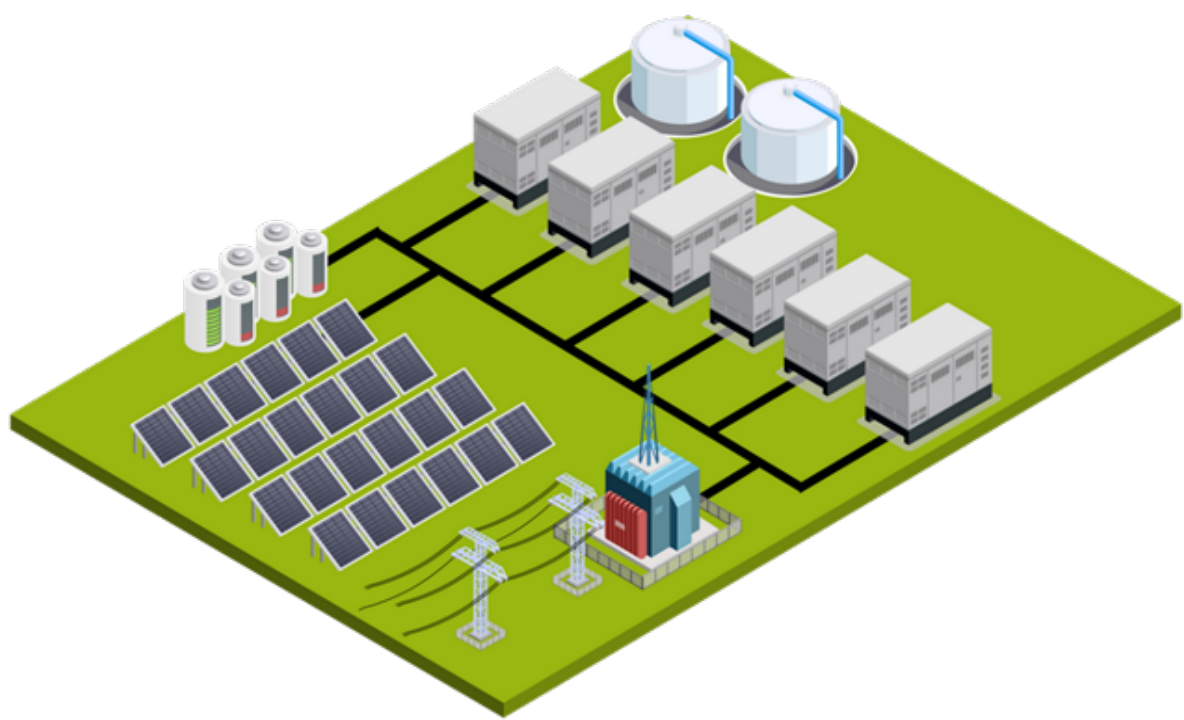
Os estudos realizados avaliaram cenários de introdução de geradores fotovoltaicos em usinas diesel, considerando tanto a presença quanto a ausência de sistemas de armazenamento. Os cenários realizados simularam variações de potência em usinas fotovoltaicas, decorrentes da variação da irradiância solar na presença de nuvens.

Os impactos decorrentes destas variações de irradiância/potência elétrica injetadas na rede, se manifestam como variações de tensão e frequência que não devem violar os limites definidos como aceitáveis. Todas as análises dinâmicas visando a estabilidade elétrica da rede foram realizadas no software ANATEM, além das análises energéticas utilizando o software Homer Pro.

Modelo utilizado para avaliação

Paras as análises elétricas foi avaliado um sistema com seis geradores a diesel independentes trabalhando em paralelo no modo seguidor de carga. Nesse sistema foi integrado um sistema de geração fotovoltaica com potência variável.

Além disso, também foi adicionado um sistema de armazenamento em baterias de íons de lítio para as avaliações dos sistemas híbridos com armazenamento de energia.



Para os geradores térmicos, foram empregados modelos de controle de tensão e velocidade específicos para geradores térmicos acionados por motor diesel. A taxa máxima de variação da

irradiância para momentos de nebulosidade foi definida em 20% / pu (200W/m/segundo), admitindo ainda uma irradiância mínima difusa.

Frequência mínima observada (Hz)				
Casos	Penetração Foto-voltaica (% da po-tência da carga)	% Irradiância difusa (% da pot. despachada)		
		0	10	20
1	90	52,9 Hz	56,2 Hz	56,6 Hz
2	80	53,8 Hz	56,5 Hz	56,9 Hz
3	70	54,5 Hz	56,9 Hz	57,3 Hz
4	60	55,2 Hz	57,3 Hz	57,6 Hz
5	50	56,4 Hz	57,4 Hz	57,8 Hz
6	40	57,5 Hz	58,0 Hz	58,6 Hz
7	30	57,8 Hz	58,5 Hz	58,7 Hz
8	20	58,6 Hz	59,0 Hz	59,1 Hz

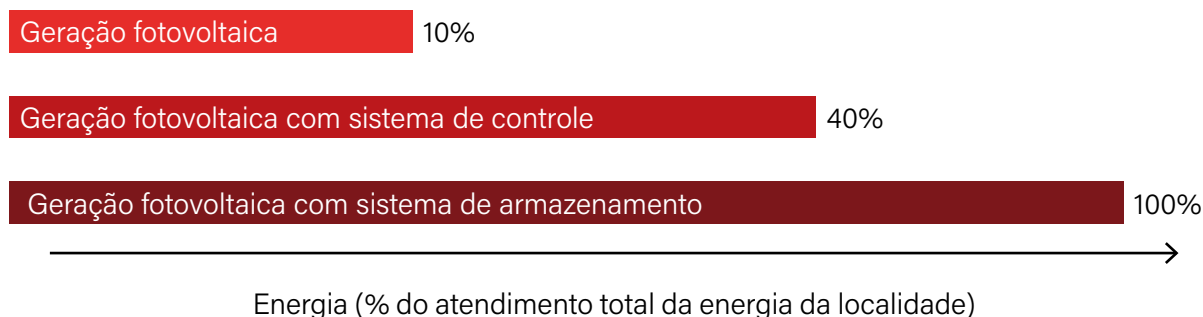
Identificou-se que o nível máximo de penetração de energia solar sem o uso de sistema de armazenamento em baterias é de **20% da carga máxima, em conformidade com o critério de segurança, e de 10% segundo o critério de qualidade**. Esses valores foram alcançados respeitando-se o despacho mínimo de cada gerador em 30% de sua capacidade nominal.

A introdução de um sistema de armazenamento de energia em baterias permitiu que a simulação demonstrasse que uma geração

solar correspondente a **90% da carga total não compromete a estabilidade da geração síncrona a diesel**, mesmo sob a condição desfavorável de operação com uma única unidade diesel.

O atendimento total da carga, com energia renovável, sem comprometer a estabilidade da rede é possível caso haja um dimensionamento energético e elétrico adequado entre o sistema de armazenamento de energia e da geração intermitente.

Capacidade de suprimento energético

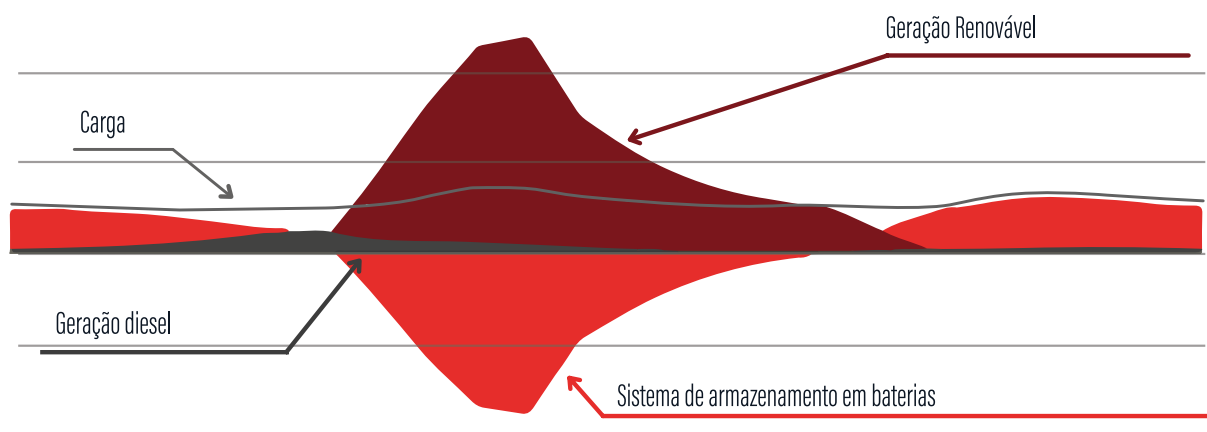


Estudos energéticos

Para minirredes com sistema de armazenamento que podem absorver as variações instantâneas de carga e geração (conforme o **gráfico** a seguir), o porte do sistema de armazenamento será diretamente proporcional à máxima penetração da fonte renovável. Para o dimensionamento do porte do

sistema são considerados duas avaliações.

Dimensionamento da solução: Se busca a solução com menor custo global para atendimento da localidade, dado uma quantidade necessária de energia renovável para o sistema.



Contribuições

A implementação de fontes de energia intermitentes juntamente com sistemas de armazenamento em minirredes isoladas representa uma estratégia promissora para a descarbonização de Sistemas Isolados na Amazônia. No entanto, é fundamental realizar uma avaliação individualizada em cada comunidade cerca do ponto de conexão, a fim de assegurar a robustez da rede de distribuição de energia na localidade em questão. Ademais, é indispensável realizar uma análise técnico-econômica específica

para cada novo empreendimento e minirrede, visando quantificar e avaliar os impactos decorrentes da inserção de fontes renováveis nos empreendimentos existentes. Visto isso, é necessário definir o despacho de energia antes do início da operação, já que a mesma configuração de sistema pode resultar em uma significativa variabilidade no consumo de diesel e no consumo específico médio da unidade de geração de energia, dependendo exclusivamente do modo de operação adotado.

Critérios econômicos para avaliação dos estudos energéticos em projetos demonstrativos

Foram considerados dois cenários futuros para a avaliação econômica em projetos híbridos:

Cenário Verde: cenário com situação favorável para renováveis, com menor CAPEX e desfavorável para fósseis, com custos mais elevados de combustível e menor eficiência de máquinas.

O&M: R\$ 50/MWh Fator i: R\$ 280 L/MWh

Preço da logística: R\$0,6/L

Inflação do diesel: inflação + 4,3% a.a. CAPEX PV: R\$ 3.48/kWp

CAPEX BESS: R\$ 2.72/kWh

Cenário Cinza: cenário desfavorável para renováveis, com maiores valores de CAPEX e favorável para fósseis, com custos reduzidos de combustível e maior eficiência de máquinas.

O&M: R\$ 30/MWh Fator i: R\$ 200 L/MWh

Preço da logística: R\$0,4/L

Inflação do diesel: inflação CAPEX PV: R\$ 4.09/kWp

CAPEX BESS: R\$ 3.94/kWh

Projetos demonstrativos

Análise das comunidades do SISOL

Foram estabelecidos critérios e indicadores econômicos, sociais, técnicos e ambientais para selecionar localidades prioritárias para a transição energética no SISOL. A aplicação do Método Processo Hierárquico Analítico (AHP) ajudou a priorizar esses critérios com base em sua importância relativa na tomada de decisões.

O estudo realizou uma análise metodológica

para ordenar as localidades com base nos critérios estabelecidos. Destacou-se a necessidade de uma abordagem metodológica e sistemática para identificar e priorizar localidades, considerando múltiplos critérios e indicadores para maximizar os benefícios sociais, econômicos e ambientais.

Dentre as comunidades classificadas foram escolhidas três para uma visita técnica detalhada

Sacambu - AM

Soluções técnicas

- **Proposta de hibridização:** Redução do uso de diesel incluindo a instalação de sistemas de energia solar fotovoltaica e armazenamento.
- **Cenário Verde:** Geração Fotovoltaica: 500kWp, Armazenamento: 510 kWh, TIR: 27%, Payback: 4,8 anos.
- **Cenário Cinza:** Geração Fotovoltaica: 500kWp, Armazenamento: 435 kWh, TIR: 20%, Payback: 5,5 anos.

Dificuldades

- **Logística:** Elevada necessidade de tancagem de combustível devido à variabilidade dos níveis d'água dos rios.
- **Limitações de Área:** Deficitária regulamentação fundiária dificultando a expansão de usinas fotovoltaicas em solo.
- Foi identificada a existência de áreas nas coberturas das residências/edificações existentes compatível com a integração fotovoltaica em telhados.



Pareceres jurídicos

- Restrições contratuais sobre alterações sem aditamentos escritos.
- Possibilidade de adicionar geração renovável com aprovação do poder concedente.
- Obrigação de obtenção e manutenção de licenças ambientais.

Oiapoque - AP

Soluções técnicas

Sistema Existente: Capacidade da PCH Salto Cafesoca: 7,5 MW de capacidade instalada (a usina ainda não entrou em operação).

Capacidade da Usina Solar (UFV): 4,3 MWp (em operação).

Proposta de hibridização: Redução do uso de diesel incluindo a instalação de sistemas de armazenamento 5,5 MWh

Cenário Verde: TIR: 19,3%, Payback: 7,4 anos.

Cenário Cinza: Não há viabilidade financeira

Dificuldades

Variabilidade do rio não permite uma transição 100% renovável, exigindo a permanência da fonte diesel.

Limitações na expansão de geração fotovoltaica



Pareceres jurídicos

Contrato permite aditamentos para integração de fontes renováveis após aprovação.

Previsões sobre a interligação ao SIN e ajustes na receita de venda.

Fernando de Noronha - PE

Soluções técnicas

- **Proposta de hibridização:** Redução do uso de diesel incluindo a expansão de sistemas de energia solar fotovoltaica e armazenamento.
- **Cenário Verde:** Geração Fotovoltaica: 16,2MWp, Armazenamento: 32MWh, TIR: 42%, Payback: 3,9 anos.
- **Cenário Cinza:** Geração Fotovoltaica: 16,2MWp, Armazenamento: 13,8MWh, TIR: 25%, Payback: 5,8 anos.

Dificuldades

- Crescimento da demanda dificulta a capacidade de manutenção de altos níveis de geração renovável.
- Limitações de espaço e impactos ambientais na fauna local.



Pareceres jurídicos

- Flexibilidade contratual para adicionar fontes renováveis com aprovação dos projetos pelo poder concedente.
- Necessidade de atendimento às leis ambientais locais e obtenção de licenças apropriadas.

Capacitação dos agentes

Dentro do escopo do projeto foram realizadas capacitações que tiveram como objetivo sensibilizar e capacitar os agentes envolvidos na transição energética do SISOL quanto a compromissos climáticos, competitividade, maturi-

dade tecnológica das fontes renováveis e potencial dos recursos energéticos identificados. Ao total foram realizados seis encontros virtuais que ocorreram durante os meses de maio e junho de 2023.



6 encontros
virtuais



24 horas de
conteúdo

Os vídeos foram gravados e **disponibilizados no Youtube**, com a participação média de 60 participantes.

Dentre os **participantes** estavam empreendedores do SISOL, agentes de distribuição, representantes de bancos, agentes públicos, consultores do projeto e outros *stakeholders* do setor.

Os conteúdos foram os seguintes:

Conteúdo	Ministrantes
Oportunidades para a transição energética no SISOL	GIZ, EPE e equipes FV UFSC e GBIO USP
Planejamento do dimensionamento dos sistemas híbridos com e sem armazenamento	Equipes FV UFSC e New Charge
Energia solar fotovoltaica nos sistemas isolados	Sílvia Pereira e equipe FV UFSC
Simulação Energética e Implantação dos Sistemas Híbridos	Equipe FV UFSC
Avaliação Econômica de Empreendimentos Híbridos	Equipe New Charge
Avaliação Ambiental, Política, Regulatória e Jurídica de Empreendimentos Híbridos	Equipe Jurídica e CBEM

Conclusões

O projeto “Transição Energética em Sistemas Isolados no Brasil” contou com a colaboração e empenho de uma equipe multidisciplinar e de diversas instituições, cujo trabalho foi fundamental para o sucesso das atividades e para a elaboração do estudo. Ao total cerca de 30 consultores envolvidos na elaboração dos produtos, que beneficiaram diretamente especialistas e gestores da GIZ e EPE, além de outros atores do setor através de capacitações técnicas.

O projeto destacou-se pela análise detalhada do contexto atual, desafios e oportunidades para a aplicação de energias renováveis em diversos sistemas isolados no Brasil. Para isso, foram estudadas e sintetizadas as lições aprendidas com os leilões passados e foram propostas melhorias e adaptações contratuais para os futuros leilões. Também foram avaliados os potenciais de geração de energia solar e biomassa no contexto do Sisol.

As principais conclusões deste estudo incluem:

- **Integração de Fontes Renováveis:** Identificou-se um grande potencial para a hibridização dos sistemas isolados com fontes renováveis, principalmente solar fotovoltaica, com viabilidade técnica e econômica desde que os prazos contratuais sejam extensos o suficiente (15 a 20 anos) para garantir a amortização dos equipamentos. Além disso, ao longo do estudo foram destacadas oportunidades para projetos-piloto de integração de sistemas de energia solar fotovoltaica e armazenamento nas comunidades visitadas.

- **Desafios Técnicos e Logísticos:** Foram observados desafios significativos relacionados à disponibilidade de área, manutenção, capacitação de agentes locais e integração tecnológica. O projeto incluiu uma análise jurídica e análise de mitigação de riscos na hibridização de sistemas do SISOL. Uma importante contribuição na expansão dos sistemas fotovoltaicos nas localidades avaliadas revelou que a integração de sistemas solares nas coberturas de residências do SISOL pode agregar significativa contribuição de potência, mitigando a expansão de usinas em áreas de floresta.

- **Potencial Renovável na Região Amazônica:** O projeto investigou a viabilidade da transição energética em sistemas isolados, avaliando a utilização de resíduos de biomassa, como resíduos sólidos urbanos, agrícolas, de esgoto e animais, para gerar energia elétrica. O estudo revelou um significativo potencial energético desses resíduos, especialmente agrícolas e animais, para contribuir à matriz energética de comunidades isoladas. Das 212 comunidades avaliadas, 43 destas possuem disponibilidade de rejeito de biomassa para atendimento integral do consumo energético da localidade. No entanto, foram identificadas barreiras logísticas, técnicas, econômicas e regulatórias que dificultam a implementação dessas tecnologias. Para superar algumas destas barreiras, o estudo propôs diretrizes estratégicas, incluindo políticas públicas de incentivo, parcerias público-privadas e fortalecimento de infraestruturas locais.

Transição Energética em Sistemas Isolados

SUMÁRIO EXECUTIVO